Aus dem Anatomischen Institut der Universität Würzburg
Vorstand: Prof. Dr. med. Kurt N e u b e r t

Z u r S p o n g i o s a a r c h i t e k t u r m e n s c h l i c h e r W i r b e l k ö r p e r.

I n a u g u r a l - D i s s e r t a t i o n

verfaßt und der
Hohen Medizinischen Fakultät
der
Julius - Maximilians - Universität Würzburg
zur
Erlangung der medizinischen Doktorwürde
vorgelegt von

Johannes D i e t r i c h
aus
Schwarzenbach - Saale

Würzburg 1956

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41543517_0027

Aus dem Anatomischen Institut der Universität Würzburg
Vorstand: Prof. Dr. med. Kurt N e u b e r t

Z u r S p o n g i o s a a r c h i t e k t u r m e n s c h l i c h e r W i r b e l k ö r p e r.

I n a u g u r a l - D i s s e r t a t i o n

verfaßt und der
Hohen Medizinischen Fakultät
der
Julius - Maximilians - Universität Würzburg
zur
Erlangung der medizinischen Doktorwürde
vorgelegt von

Johannes D i e t r i c h
aus
Schwarzenbach - Saale

Tag der mündl. Prüfung:
31. Jan. 1956

Würzburg 1956

Referent: Professor Dr.med. K. N e u b e r t

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

Gedruckt mit Genehmigung
der Medizinischen Fakultät der Universität Würzburg

Meiner lieben Frau
gewidmet

Inhalt:

	Seite
Einleitung	1
Literaturübersicht	2
Entwicklung der Wirbelkörper	2
Gefäßversorgung	6
Zur Spongiosaarchitektur	9
Material und Methodik	14
Eigene Befunde	15
Diskussion	26
Zusammenfassung	30
Literaturverzeichnis	32
Bildanhang	

Zur Spongiosaarchitektur menschlicher Wirbelkörper.

Einleitung

Eine genaue Analyse von Reihenröntgenogrammen fortschreitender tuberkulöser Wirbelsäulenprozesse läßt immer wieder erkennen, daß die jeweils befallenen Wirbelkörper durchaus nicht gleichmäßig demineralisiert werden. Es zeigt sich vielmehr, daß bei Krankheitsbeginn an der ventralen Wirbelkörperfläche zunächst eine keilförmige Destruktion des Knochens einsetzt, die bei Vergrößerung des Herdes zur Entkalkung und schließlichen Einschmelzung einer horizontalen Zone im Mittelfeld der Wirbelkörper führt. Nach Zusammenbruch des ventralen Spongiosagefüges klappen die erhalten gebliebenen Scheiben des cranialen und caudalen Wirbelendes zum typischen Keilwirbel zusammen, um schließlich im Verlauf der weiteren Einschmelzung gleichfalls aufgelöst zu werden.

Die Regelmäßigkeit dieses Befundes ließ uns daran denken, daß eventuell das spezifische Strukturgefüge des normalen Wirbelkörpers und die besondere Anordnung seiner Blutgefäße ein begünstigendes Moment für die charakteristische Ausbreitung des Prozesses darstellen könnten. In dieser Vermutung wurden wir durch die Erfahrungstatsache bestärkt, daß auch bei nicht tuberkulösen, jedoch ebenfalls mit Demineralisation einhergehenden Wirbelsäulenerkrankungen Keilwirbelbildungen auftreten, wobei der Zusammenbruch des Wirbelkörpers wiederum im Bereich der horizontalen Mittelebene in der Weise erfolgt, daß die cranialen und caudalen Endzonen zunächst erhalten bleiben.

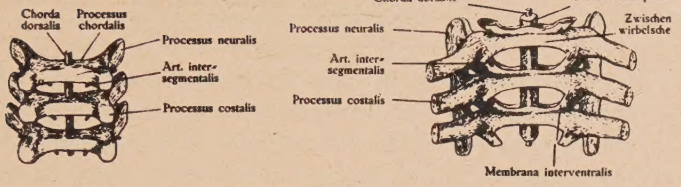
Während meiner Tätigkeit am Anatomischen Institut der Universität Würzburg hatte ich, dank des freundlichen Entgegenkommens meines Chefs, Herrn Professor Dr. K. Neubert, Gelegenheit, an Hand eines umfangreichen Sammlungsmaterials dieser Frage nachzugehen und zu untersuchen, ob die normale Wirbelkörperarchitektur geeignet ist, den typischen Verlauf solcher mit Demineralisation einhergehenden Krankheitsprozesse zu erklären.

L i t e r a t u r ü b e r s i c h t

Vor Eingehen auf die eigenen Untersuchungsbefunde dürfte es zweckmäßig sein, die in der Literatur bekannt gewordenen Beobachtungen zum Aufbau normaler Wirbelkörper einer umfassenden Betrachtung zu unterziehen. Ausgehend von der Entwicklung sollen Gefäßversorgung und Knochenarchitektur der Wirbelkörper abgehandelt werden. Dabei werden in erster Linie solche Gesichtspunkte Berücksichtigung finden, die für unsere eigene Problemstellung von besonderer Bedeutung sind.

E n t w i c k l u n g der Wirbelkörper

Ontogenetisch geht die Wirbelsäule nach B r o m a n auf das "die Chorda dorsalis und das Medullarrohr umgebende sogenannte axiale Mesenchym" zurück, das von den Ursegmenten stammt und anfangs selbst eine Unterteilung zeigt, die durch die intersegmentalen Zweige der Aorta angedeutet wird. "Die zwischen diesen Arterien liegenden axialen Mesenchymabschnitte werden Sklerotome genannt." Jedes dieser beidseitigen Sklerotome differenziert sich während der 4. Embryonalwoche in zwei Teile: "In eine caudale Hälfte, die sich blastematös verdichtet und die primitive Wirbelanlage darstellt, und in eine craniale Hälfte", deren mesenchymales Substrat lockerer gebaut ist. Diese paarigen Blastemmassen der primitiven Wirbelanlage sind im Horizontalschnitt dreieckig und bilden unter Aussprossen der medial, dorsal und ventral gerichteten Fortsätze die Chordal-, Neural- und Costalspangen. Im weiteren Verlauf wächst der mediale Blastemsproß plattenartig in Richtung Chorda dorsalis vor, umschließt diese und verschmilzt schließlich mit dem der anderen Seite. Dieses Stadium gibt die linke Zeichnung der aus B r o m a n 's Lehrbuch entnommenen Abbildung wieder. (Abb. 1a, S.3).



1a 1b

Abb.1 Mesenchymstadien der Wirbelkörperentwicklung

a) Frühe Form mit ausgebildeten Fortsätzen.

b) Gliederung in lockeres und dichtes Mesenchym. Das allein gezeichnete verdichtete Mesenchym umhüllt nach Art eines ventral und dorsal geöffneten abgeplatteten Ballons die lockere Füllmasse.

Aber auch in der Längsrichtung sind Wachstumsveränderungen festzustellen. Aus der Verbindungsstelle zwischen costalem und chordalem Fortsatz sprießt beidseitig nach cranial und caudal je eine Blastemwucherung hervor, die durch Verschmelzen mit der entgegenkommenden der benachbarten Sklerotome eine das lockere Mesenchym nach lateral wandartig abgrenzende Blastemschicht, die "Membrana interventralis" bildet (siehe Abb. 1b, S. 3). Auf diese Weise wird das lockere Mesenchym von einer Blastemschale in Gestalt eines abgeplatteten Ballons umhüllt und lediglich an der ventralen und dorsalen Seite dieser Wirbelanlage bleibt ein schmales ovales Feld ausgespart. Der Raum des auf diese Weise umschlossenen lockeren Mesenchyms wird durch ein nach ventral und dorsal ausgezogenes Blatt der Chordaumhüllung, nämlich das Perichordalseptum B a r d e e n s median durchteilt. Diesen Entwicklungsstand veranschaulicht die rechte Zeichnung der Abbildung 1 wobei nur das Blastem, also allein das dichte Mesenchym dargestellt ist.

Gewisse Übereinstimmungen dieser räumlichen Verteilung der Mesenchymarten der frühen Wirbelanlage mit der später zu schildernden Anordnung von Gefäßen und der Spongiosa lassen sich durch die nachfolgenden Entwicklungsstufen fortlaufend bis zum voll ausgebildeten Wirbelkörper verfolgen. Finden wir doch Blutgefäße stets in Verbindung mit lockerem Mesenchym beziehungsweise lockerem Bindegewebe, das in

der hier beschriebenen Wirbelkörperanlage die Form von zwei paramedianen und transvertebralen Kanälen aufweist.

Im Laufe der weiteren Entwicklung wird nahe den "Intersegmentalgefäßen" beiderseits der Chorda dorsalis eine homogene, basophile Interzellularsubstanz ausgeschieden. Diese bilateral symmetrisch auftretenden Vorknorpelzentren breiten sich weiter aus, um allmählich die Chorda dorsalis zu umschließen. Sobald der Vorknorpel zu embryonalem Knorpel ausdifferenziert ist, kommt es in der Umgebung der Chorda zur Ablagerung von Kalksalzen. Zugleich dringen von ventral und dorsal Gefäße in die Wirbelkörperanlage ein, um nun unter Auflösung der verkalkten Knorpelgrundsubstanz die enchondrale Ossifikation unter Bildung von Knorpel-Knochenbälkchen einzuleiten. Diese enchondral entstehenden Knochenkerne sind bereits bei Embryonen von etwa 6-7 cm Scheitel-Steißlänge zu beobachten. (B r o m a n).

Auf die erhebliche Bedeutung der Gefäßversorgung, sowohl für die erste Entstehung wie für die weitere Ausgestaltung der Knochenbildungsherde, die im Wirbelkörper schon frühzeitig zu einem einzigen Kern verschmelzen, haben S c h i n z und T ö n d u r y eingehend hingewiesen. Sie führen an, daß sich meist ventrale und dorsale Gefäßäste nachweisen lassen, die häufig paarig angeordnet sind und symmetrisch liegen. "Alle Gefäßkanäle werden von verkalkter Knorpelgrundsubstanz ausgekleidet und enthalten außer sehr zartwandigen Gefäßen das zellreiche Markgewebe ...".

Wenn man die Feststellungen von S c h i n z und T ö n d u r y zu Grunde legt, wonach die Gefäßversorgung einen wesentlichen Einfluß auf die normale Formbildung der Knochenkerne ausübt und man F r i e d l ä n d e r folgt, der als Quintessenz seiner Untersuchungen hervorhebt, daß "vor Beginn der enchondralen Ossifikation ein reichliches Gefäßnetz vorliegt, welches den Knorpel in derselben Richtung durchzieht, wie später die Knochenlamellen", so müßte aus dem Gefäßverlauf der Lamellenaufbau des Knochens und aus diesem umgekehrt der Gefäßverlauf wenigstens in seinen Grundzügen rekonstruierbar sein. Die in ihrer Grundform schon beim Fetus gegebene Spongiosaarchitektur ist nach der Auffassung von F i s c h e l ererbt, nach R o u x als präfunktionelle und nach B e n n i n g h o f f als Wachstums - Struktur zu werten.

Die wechselseitige Beeinflussung von Knochenbildung und Vaskularisation im Sinne einer "Syngenese" von H e i d e n h a i n zeigt sich am wachsenden Wirbelkörper unter anderem auch darin, daß sowohl an der dorsalen als auch an der ventralen Wand im Bereich der Gefäßeintrittsstellen tiefe Einbuchtungen entstehen, die durch zwei dorsoventral ziehende Kanäle untereinander verbunden sind. Wie V o n - w i l l e r beschrieb, liegen diese sagittal verlaufenden Gefäßkanäle zu beiden Seiten der Medianebene und zwar genau in der Mitte der Wirbelkörperhöhe. An Hand von seitlichen Röntgenaufnahmen älterer Feten und Neugeborener schilderten auch H a n s o n, W a g o n e r und P e n d e r g r a s s diese Buchten als trichter- oder kegelförmige Einsenkungen der ventralen und dorsalen Wirbelkörperwand. Histologische Kontrolluntersuchungen bestätigten diese Befunde.

H a n s o n weist außerdem daraufhin, daß die ventralen Einziehungen nach außen vom Periost überspannt werden und von Knochenmark und einer weiten,querverlaufenden Vene ausgefüllt sind. Durch nachträgliche, periostale Knochenanlagerung wird das Füllmaterial in den Wirbelkörper selbst eingeschlossen, sodaß die ursprüngliche Trichterbildung später von außen nicht mehr zu erkennen ist und lediglich die Eintrittsstellen der paarigen V o n w i l l e r'schen Gefäßkanäle sichtbar bleiben. Im weiteren Verlauf der Verknöcherung werden unter fortlaufender Anschichtung von Hartsubstanz ständig neue Gefäße der periostalen Kambiumschicht in den Wirbelkörper eingemauert. So kommt es, daß zunächst an der ventralen, später auch an der lateralen Wirbelkörperwand knöcherne Umscheidungen von Gefäßen als unvollständige Röhren, bzw. Rinnen (H a n s o n) und flache Impressionen aufzufinden sind, die in horizontaler Ebene U-förmig in der Mitte der Wirbelkörperhöhe den Knochen umlaufen. Die genannten Charakteristika des wachsenden Wirbelkörpers, nämlich in erster Linie die ventrale Einbuchtung, die Ausbildung horizontaler oberflächlicher Rinnen im Mittelteil und sagittale Gefäßkanäle beeinflussen mehr oder weniger die Schattenzeichnung im Röntgenbild, sodaß bei lateralem Strahlengang speziell in der horizontalen Mittelebene des wachsenden Wirbelkörpers entsprechende Aufhellungen zustande kommen.

Entwickeln sich während der ersten zwei Lebensjahre die knöchernen Wirbelkörper vornehmlich flächig in horizontaler Richtung, wobei sie die Form niederer Scheiben annehmen, so tritt anschließend die

Höhenentwicklung in den Vordergrund. Da die cranialen und caudalen Endflächen der Wirbelkörper zeitlebens von Knorpel bedeckt sind, muß das Wachstum in der Körperlängsrichtung vorzugsweise der enchondralen Knochenbildung zugeschrieben werden, während die Breitenentfaltung in erster Linie als Leistung eines periostalen Knochenanbaues anzusehen ist.

Bei der weiteren Größenzunahme des knöchernen Wirbelkörpers bleibt an seiner enchondralen Bildungsstätte im Bereich der späteren Randleiste ein Knorpelring erhalten, der vom 8. Lebensjahr an gesondert zu verknöchern beginnt und daher als "Wirbelepiphyse" bezeichnet wurde. Im Alter von 16 Jahren sind die Randleisten als platte Knochenringe voll ausgebildet und verschmelzen mit dem Wirbelkörper bis zum 25. Lebensjahr. Dagegen setzt die knöcherne Verwachsung der Wirbelbogenepiphysen mit dem Wirbelkörper schon mit 6 - 8 Jahren ein und ist mit 16 Jahren bereits beendet.

Gefäßversorgung der Wirbelkörper

Die den Wirbelkörper versorgenden Blutgefäße zeigen fetal ein relativ einfaches und daher leicht zu übersehendes Verhalten. Die Darstellung wird deshalb zweckmäßigerweise von dem fetal bereits erkennbaren Verteilungsprinzip ausgehen. Da die weitlumigen Venen gegenüber den feineren Arterien besonders deutlich hervortreten, wurden sie schon von älteren Autoren eingehend untersucht.(Breschet 1819).

Entsprechend der außerordentlichen Variabilität der Venen und dem jeweils angewandten Injektionsverfahren wurden sehr unterschiedliche Befunde erhoben. In übereinstimmender Weise konnten jedoch immer wieder zwei in sagittaler Richtung die Mitte der Wirbelkörperhöhe durchsetzende Hauptgefäße beobachtet werden. Die beiden Venen verlaufen parallel und knapp neben der Medianebene von dorsal nach ventral und münden direkt in die segmental zugehörigen Venae intercostales beziehungsweise lumbales ein. Wenngleich angegeben wird, daß die Wirbelkörpervenen von ventral nach dorsal verlaufen, dürfte die Strö-

mung des Blutes in der Hauptsache nach ventral gerichtet sein und der Abfluß über einen relativ weiten Verbindungsast in die Venae intercostales des entsprechenden Segmentes erfolgen.

Da die beiden sagittalen Wirbelkörpervenen dorsal als Venae basivertebrales in den ventralen Anteil des Plexus venosus vertebralis internus übergehen, vermitteln sie nach Art paariger Leitersprossen Anastomosen zwischen den ventral der Wirbelsäule verlaufenden Längsgefäßen einerseits und den dorsalgelegenen Wirbelkanalplexus andererseits. Die Ableitung des dorsalwärts strömenden Blutteiles erfolgt über die beiden Venae intervertebrales zum Dorsalast der jeweiligen Segmentvene.

Bei seinen Untersuchungen an Edentaten und Marsupialier hat H.M. de B u r l e t die sagittalen Wirbelkörpervenen als transvertebrale Venen beschrieben. Er hebt hervor, daß sie beim Känguruh besonders stark ausgebildet sind und für den Abfluß des Blutes aus den unteren Extremitäten eine erhebliche Bedeutung besitzen. V o n w i l l e r, der dieses Verhalten der Venen bei verschiedenen Amnioten, so auch bei menschlichen Feten und Neugeborenen, in sehr eindrucksvoller Weise darstellte, lehnte ebenso wie de B u r l e t und B r e s c h e t die Ansicht ab, daß diesen sagittalen Venenpaaren lediglich ernährende Aufgaben zuzuschreiben seien.

W a g o n e r und P e n d e r g r a s s dehnten ihre Untersuchungen von 6 Monate alten Feten bis auf 72 Jahre alte Erwachsene aus und stellten in ähnlicher Weise fest, daß der fetale Wirbelkörper von vier venösen Leitröhren, zwei vorderen und zwei hinteren drainiert wird. Diese vier Venen sollen zentral durch Quer- oder Ringanastomosen, dem sogenannten Hauptsammelbecken, untereinander verbunden sein. Die Ausbreitung des venösen Systems im Wirbelkörper des Erwachsenen erfolgt ihrer Auffassung nach innerhalb "vertikaler, säulenartiger Räume", die sich unter Aufteilung nach cranial respektive caudal immer weiter entfalten. Schließlich endigt die Mehrzahl dieser Venen in der "oberen und unteren corticalen Zone".

Die arterielle Versorgung der Wirbelkörper der Brust- und Lendenregion erfolgt durch die segmentalen Arterien, die als paarige Abzweigungen von der Rückwand der Aorta ausgehen. Sie umfassen die ventrale

Seite der Wirbelkörper, an die sie direkt feine Ästchen abgeben, und spalten sich unterhalb der Rippenköpfchen in einen Ramus ventralis und einen Ramus dorsalis auf. Der aus dem hinteren Gabelast abgehende Ramus spinalis dringt in den Wirbelkanal vor, um dessen Wand und Inhalt zu versorgen und dabei über einen ventralen Zweig der "Arteria nutritia" Blut zuzuführen, die genau in der Mitte der Wirbelkörperrückfläche eintritt.

Auch bei der Darstellung der Wirbelkörperarterien wurden je nach der angewandten Injektionstechnik recht verschiedenartige Befunde erhoben. So beobachtete S o l o t u c h i n eine Versorgung der Wirbelkörper von vorne und seitlich durch 15 - 18 Seitenästchen der segmentalen Arterien. Außerdem wurden vom gleichen Autor zwei Arterien beschrieben, die aus dem Ramus spinalis beider Seiten kommend die Fläche des Wirbelkörpers von hinten durchbrechen. Den von A n s e r o f f, F e r g u s o n, F o r s s m a n n und P e t r e n erhobenen Befunden liegen offenbar nicht ganz vollständige Injektionen zu Grunde. Auf alle Fälle dürfte dies für die Untersuchungen von W i l l i s zutreffen, der lediglich das Vorhandensein von dorsalen Ästen anführt. F e r g u s o n fand bei Vinylazetatinjektionen nur dünne ventrale Zweige der Segmentaläste. Sie verloren sich innerhalb des periostalen Bindegewebes und nur einzelne kleine Ästchen durchstießen die ventrolaterale Wirbelkörperwand.

W a g o n e r und P e n d e r g r a s s beschrieben einen anterolateralen, arteriellen Haupt- und einen dünnen lateralen Seitenast, die in bilateral symmetrischer Ausbildung auftreten sollen."Diese Äste können bis zur Wirbelkörpermitte gut verfolgt werden, bevor sie sich teilen..."

Zusammengefaßt ist festzustellen, daß, ähnlich wie bei den Venen, das arterielle System in erster Linie aus zwei paramedian und horizontal verlaufenden Arterien besteht, die parallel zu den Venen ziehen. Zusätzliche, kleinere Seitenästchen dringen aus dem segmentalen Stammgefäß, insbesondere von ventral und lateral, in das Innere des Wirbelkörpers vor.

Diese Gefäßanordnung ist für die Wirbelkörper des Erwachsenen typisch, doch kommen häufig Abweichungen vor. So sind an mazerierten

Wirbelkörpern die ventrolateralen "Foramina nutritia" für die paramedianen Gefäße oft nur noch einseitig zu sehen. Bei etwa 50 % der vollentwickelten Wirbelsäulen sind ventral nur mehr kleine Gefäßlöcher, manchmal in Vielzahl vorhanden (V o n w i l l e r, B r e s c h e t).

Demgegenüber zeigt die dorsale Wand noch regelmäßig und sehr deutlich in der Tiefe ihrer trichterförmigen, mittelständigen Bucht die nebeneinanderliegenden Öffnungen der beiden sagittalen Gefäßkanäle für die entsprechenden Arterien- und Venenäste.

Beim kindlichen und beim jugendlichen Wirbelkörper sind an sämtlichen vertikal stehenden Oberflächen die Ein- bzw. Austrittsstellen der Hauptgefäßkanäle fast auf eine Ebene beschränkt, die der Mitte der Wirbelkörperhöhe entspricht. Dies weist darauf hin, daß sich die Hauptgefäße vorzugsweise in der Mittelebene ausbreiten. Durch die oben erwähnten Injektionsuntersuchungen ist mehrfach bestätigt worden, daß sowohl die arteriellen als auch die venösen Gefäßstämme sich gerade in der Mittelebene aufteilen und daß sie im Bereich des Wirbelkörperzentrums ringförmig miteinander anastomosieren. Vom Niveau der Gefäßebene mit ihren groben Aufästelungen gehen nach cranial und caudal feinere Seitenzweige ab, die unter dichotomischer Aufteilung gegen die "Endplatten" vordringen.

Z u r S p o n g i o s a a r c h i t e k t u r

Der Erörterung des Wirbelkörpergefüges sei eine Definition der verschiedenen Spongiosaformen vorangestellt. Bekanntlich ist die Spongiosa im Gegensatz zur Compacta dadurch charakterisiert, daß bei ihr die Knochensubstanz unter Materialeinsparung zu einem schwammartig aufgelockerten System trajektoriell ausgerichteter Knochenstreben verbaut ist.

R o u x grenzt in schematisierender Weise folgende elementare Gefügeteilchen ab: Einmal die sogenannten "Tubuli ossei", Knochenröhrchen, die jeweils in Richtung der Hauptbelastung eingestellt sind, dann die "Lamellae staticae", die Knochenplättchen, die die "Häufung

des Widerstandes in Richtung einer Fläche" zum Ausdruck bringen, und schließlich die"Trabeculae osseae", als solide, zylindrische Gebilde bei denen die "Beanspruchung nur in Längsrichtung der Bälkchen erfolgt".

Je nach Ort und Belastungsart sind diese Elemente mit unterschiedlichen Mengenanteilen zum Raumgefüge der Spongiosa zusammengefügt. Bei der "Spongiosa tubulosa" handelt es sich nach R o u x um ein Verstrebungssystem, das ausschließlich aus Tubuli ossei besteht. Durch gleichzeitige Verwendung von Lamellae staticae und Trabeculae osseae kommt die "Spongiosa reticularis" zustande.

Die dritte Art, die "Spongiosa laminosa", setzt sich aus gröberen Platten zusammen, die durch Bälkchen oder zarte Lamellae staticae fachwerkartig verbunden sind.

R o u x unterscheidet außerdem bei der Spongiosa tubulosa zwischen einer "Spongiosa tubulosa completa" mit fast geschlossenen Röhrchenwandungen und eine "Spongiosa tubulosa incompleta" mit vielfach durchbrochenen Wandungen. Er ist der Auffassung, daß im Innern fetaler Röhrenknochen die primäre Spongiosa nach Art einer Spongiosa tubulosa aufgebaut ist.

Während P e t e r s e n es ablehnt von einer Spongiosa tubulosa zu sprechen, da sie nach seiner Ansicht beim Menschen nicht vorhanden ist, erkennen B a r g m a n n und B e n n i n g h o f f diese Spongiosaform für menschliche Röhrenknochen an und erläutern ihr Vorkommen am Beispiel des Femurhalses, B a r g m a n n gibt folgende Definition: "Die Röhrchenspongiosa besteht aus zusammenhängenden, zirkulären Lamellensystemen, welche annähernd ovoide oder kugelige, markerfüllte Räume umschließen, die alle untereinander zusammenhängen."

Nach S c h i n z ist die Spongiosa menschlicher Knochen ein "kompliziertes Fachwerk von Trabekeln, Plättchen und Platten", bei dem"subchondral auch Röhrchen und Kugelschalen" Verwendung finden. Das subchondrale Auftreten von Tubuli ossei läßt an die Möglichkeit denken, auf Grund morphologischer Unterschiede periostal und enchondral gebildeten Knochen nachträglich gegeneinander abzugrenzen.

Nach diesem Überblick über das allgemeine Strukturprinzip der Spongiosa soll unter Auswertung der Literatur erörtert werden, welche spezielle Gefügeordnung beim Wirbelkörper des erwachsenen Menschen vorliegt.

Nach der in den Lehrbüchern üblicherweise vertretenen Ansicht ist die Wirbelkörperspongiosa in erster Linie aus vertikalen Plättchen und horizontalen Verbindungsbälkchen zusammengesetzt (G r a y, M o r r i s, P i e r s o l u.a.). Nach P e t e r s e n dagegen findet sich in den Wirbelkörpern die "typische Spongiosa trabeculosa". S c h m o r l und J u n g h a n n s sprechen von "dünnen Knochenplatten, die sich gegenseitig durchschneiden und zahlreiche rundliche bis viereckige Löcher verschiedener Größe enthalten". Dabei sollen die Knochenplatten in Kopf-Steißrichtung eingestellt sein.

B r e s c h e t weist daraufhin, daß die "Wirbelkörper des Menschen durch die Aufrichtung des Rumpfes statisch in der Längsrichtung beansprucht werden". Infolgedessen entsteht eine "dichtgefügte Spongiosa vom Typ des Plättchenbaues mit vorwiegend craniocaudaler Ausrichtung, aber auch mit zahlreichen quer dazu verlaufenden Plättchen".

Zusammenfassend läßt sich somit feststellen, daß der übereinstimmenden Auffassung der Autoren zufolge die Wirbelkörperspongiosa aus einem System vertikaler und horizontaler Plättchen und Trabekel besteht. Abweichende Angaben konnten weder in Lehrbüchern noch in wissenschaftlichen Veröffentlichungen gefunden werden. Lediglich die Wirbel des Wales sollen nach R o u x eine typische Spongiosa tubulosa aufweisen, wie auch G e b h a r d t bestätigt.

M o r r i s, M u t e l und R e m y, und P i e r s o l weisen daraufhin, daß die vertikalen beziehungsweise horizontalen Streben des Systems nicht völlig gerade verlaufen, sondern leichte Ausbiegungen zeigen. Auf Grund unserer eigenen Beobachtung müssen wir demgegenüber feststellen, daß bei normalen Wirbelkörpern mit absolut planparallelen Endflächen ein rein vertikaler und horizontaler Trajektorienverlauf eingehalten wird.

Fand bei den bisherigen Erörterungen ausschließlich das System der spongiösen Substanz Berücksichtigung, so ist es der Vollständig-

keit halber notwendig, auch auf die in der Literatur vertretenen Auffassungen zur Frage einer Wirbelkörpercorticalis einzugehen. P e t e r s e n legt in M ö l l e n d o r f f's Handbuch für mikroskopische Anatomie seine Ansicht folgendermaßen dar: "Die Wirbelkörper bestehen nur aus Spongiosa, die umschließenden Bandmassen sind hier ganz besonders von konstruktiver Bedeutung." Dabei ersetzt seiner Auffassung zufolge an den kurzen Knochen, zu denen ja die Wirbel zählen, das Periost die Compacta. Er betont ausdrücklich: "Beim Wirbel fehlt ein sicherer Abschluß der Spongiosaräume, hier findet sich rotes Knochenmark in Hohlräumen zwischen dem Periost und der Corticalis." Auch in der sonstigen anatomischen Literatur wird beim Wirbelkörper so gut wie nie von einer Compacta gesprochen, während im klinischen Schrifttum hin und wieder dieser Begriff Anwendung findet.

In diesem Zusammenhang muß auf einen für unsere Betrachtungen wichtigen, röntgenologischen Befund hingewiesen werden. Die seitliche Durchleuchtung von Wirbelsäulen zeigt besonders bei Jugendlichen, seltener bei Erwachsenen, in der Mitte der Wirbelkörperhöhe eine horizontale, streifenförmige Aufhellung.

H a h n, der 1922 als erster diese horizontalen Aufhellungen auf Röntgenbildern von Wirbelkörpern Jugendlicher beobachtete und beschrieb, äußerte die Vermutung, daß die Entschattung durch " in diesem Alter besonders große Foramina nutritia" bedingt sei. H a n s o n dagegen brachte die Aufhellungen mit einer in die ventrale Wirbelkörperwand eingelassenen, U-förmigen Gefäßrinne in Zusammenhang. Weitere Auroren führten den Pseudospalt auf den zentralen Einbau von Gefäßkanälen zurück (R e i s s n e r, R u c k e n s t e i n e r, S c h i n z - B a e n s c h - F r i e d l, K ő h l e r - Z i m m e r u.a.). Da die horizontalen Gefäßkanäle die Wirbelkörper scheinbar halbieren, wurde die Vermutung geäußert, daß es sich bei den Gefäßen der Mittelebene, also auch bei den Venae basivertebrales, um Abkömmlinge ursprünglich intersegmentaler Gefäße handelt. Anlaß zu dieser Auffassung gab offenbar die Beobachtung, daß die paramedian verlaufenden V o n w i l l e r'schen Gefäßkanäle, die freilich mit intersegmentalen Gefäßen nicht identisch sind, beim Neugeborenen und auch im Laufe des weiteren Wachstums auf seitlichen Röntgenaufnahmen besonders deutlich hervortreten. Die röntgenologische Darstellung von äußeren Gefäßrinnen, Gefäßeintrittsstellen und zentral gelegenen Ge-

fäßkanälen soll mit der weiteren Anschichtung spongiösen Knochenmaterials immer schwieriger werden und nach Ansicht verschiedener Autoren nach Abschluß des Wachstums normalerweise nicht mehr möglich sein. Einige Untersucher glauben diesen Umstand auf die Ausbildung einer regelrechten, eventuell sogar verdickten Compacta zurückführen zu müssen.

Die Auffassung, wonach die Gefäßkanäle die Ursache für die horizontale Aufhellung seien, wird von D y e s und seiner Schülerin S c h e u r i n g freilich abgelehnt, da eine Darstellung bei craniocaudalem Strahlengang am Einzelwirbel nicht möglich ist. Die streifige Aufhellung im Röntgenbild soll vielmehr "von einer kalkarmen, horizontal liegenden Platte von Sektorengestalt" hervorgerufen werden. H a r r e n s t e i n mißt den von H a n s o n beschriebenen, oberflächlichen Rinnen gegenüber den "großen - im horizontal halbierten Wirbelkörper sichtbaren - mit Knochenmark gefüllten Höhlungen" nur geringe Bedeutung bei. In ähnlicher Weise äußerte sich B r a n d t in einer persönlichen Mitteilung an L y o n, in der er daraufhinweist, daß der "Zentralbezirk des Wirbelkörpers außerordentlich grobmaschig" sei, in der Horizontalen der Wirbelkörpermitte das Knochenmark fehle und zudem der Wirbelkörper im Bereich der Brust- und Lendenwirbelsäule üblicherweise tailliert sei. V o l l m a r kam auf Grund seiner röntgenologischen Untersuchungen zu dem Schluß, daß die horizontalen Aufhellungsstreifen "vollkommen normale Gebilde" sind und sowohl beim Erwachsenen wie beim Jugendlichen zu beobachten sind.

Im Anschluß an die vorstehende Literaturbetrachtung sollen nunmehr die von uns an der Spongiosa normaler Wirbelkörper erhobenen Befunde erörtert werden.

Material und Methodik

Für unsere eigenen Untersuchungen standen uns einmal etwa 350 menschliche, bereits mazerierte Wirbelsäulen der Institutsammlung zur Verfügung. 50 von diesen waren in vollständige Skelette einmontiert und konnten lediglich zum Studium der Oberflächenstrukturen Verwendung finden. Zum anderen boten große Mengen mazerierter Einzelwirbel beste Gelegenheit die Spongiosaarchitektur zu studieren, umso mehr als ein großer Teil bereits median durchsägt war. Dem Gesamtmaterial wurden ausschließlich solche Wirbel entnommen, die - ohne krankheits- oder altersbedingte Veränderungen aufzuweisen - offensichtlich voll entwickelt waren. Unsere Untersuchungen beschränkten sich weitgehend auf Brust- und Lendenwirbelkörper.

Um das Innengefüge eingehend analysieren zu können, wurde eine große Zahl von frischen und mazerierten Wirbeln nach Entkalken in 5%iger Salpetersäure in den verschiedensten Richtungen des Raumes geschnitten. Um Weichteilreste möglichst vollständig entfernen zu können, haben wir die Wirbel bereits während der Entkalkung in grobe Stücke zerlegt und vorsichtig ausgedrückt, beziehungsweise von der Schnittfläche her ausgespült. Einem nachträglichen Quellen der völlig entkalkten Wirbel suchten wir durch eine 24 stündige Nachbehandlung mit einer 5%igen Natriumsulfatlösung zu begegnen.

Da die Wirbelkörper nach der Entkalkung leicht deformierbar sind, erwies es sich zur Erhöhung der Konsistenz als zweckmäßig, das Material in 50%igen Alkohol einzulegen. Erst dann wurden die Wirbelkörper mit einem Rasiermesser in etwa 2-3 mm starke Scheiben zerlegt, wobei sagittale, horizontale und frontale Schnittrichtungen zur Anwendung kamen. Das Schnittmaterial wurde anschließend in 70%igem Alkohol aufbewahrt, um spätere Schrumpfungen und Rißbildungen zu vermeiden. Vor Druckversuchen, auf die an anderer Stelle eingegangen wird (s.S. 24), haben wir die Alkoholhärtung der entkalkten Wirbelkörper durch nachträgliches ausgiebiges Wässern wieder rückgängig gemacht.

Bei der Analyse des Raumgefüges der Spongiosa bewährte sich das Stereomikroskop von Z e i s s - O p t o n aufs beste, ermöglichte es doch unter wahlweiser 6-80 facher Vergrößerung eine ausgezeichnete räumliche Orientierung.

Eigene Befunde

Es erscheint zweckmäßig die Darstellung unserer eigenen Befunde mit einer Übersicht über den makroskopisch erkennbaren Verbau der Spongiosa einzuleiten.

Bei der Durchmusterung von sagittalen bzw. frontalen Schnittreihen mazerierter und entkalkter Wirbelkörper des Brust- und Lendenbereichs ist schon mit bloßem Auge eine mittlere "großkammerige Zone" zu erkennen, die stets horizontal, zwischen den beiden "Endplatten" liegt und räumlich betrachtet die Form einer flachen bikonkaven Scheibe besitzt. Die hochgezogenen Randpartieen dieser bikonkaven Scheibe bilden mit ihrer peripheren Wandung die ventrale, laterale und teilweise auch die dorsale Wirbelkörperoberfläche (a,b,c der Abb.2,S.11)

In die beidseitigen Konkavitäten der "großkammerigen Mittelzone" sind nach Art plankonvexer Kugelkappen die cranialen und caudalen Wirbelkörperanteile eingefügt. Sie unterscheiden sich durch feinere Maschengröße und vertikale Orientierung ihres Spongiosagefüges deutlich von der großkammerigen Mittelzone. Da eine scharfe Grenzziehung zwischen den drei Zonen nicht überall möglich ist, lassen sich genaue Maße für die Breite und Stärke der Mittelzone nicht angeben, jedoch fällt auf, daß das Höhenverhältnis des zentralen, besonders großmaschigen Anteils dieser Zone zur Wirbelkörperhöhe während des Lebens nicht gleich bleibt. Bei der Untersuchung der verschiedenen Altersstufen ist uns aufgefallen, daß bezogen auf die Gesamthöhe der Wirbelkörper die Mittelzone während der ersten drei Lebensjahre eine größere Ausdehnung besitzt als in den unmittelbar anschließenden Jahren. Relativ am kleinsten, jedoch absolut am größten ist die Höhe dieses Zentralanteils der Mittelzone bei Jugendlichen und Erwachsenen. Im Greisenalter kommt es insofern wieder zu einer Änderung der Relation, als die vertikale Höhenabnahme der großkammerigen Zone von der des Wirbelkörpers übertroffen wird.

Die in der Literatur wiedergegebene Auffassung, wonach die Wirbelkörperspongiosa allenthalben als ein System von rechtwinklig zueinander stehenden Lamellen und Querbalken zu betrachten ist (siehe Seite 11), konnte von uns nicht bestätigt werden. Zwar weisen die zwischen der Mittelzone und den Zwischenwirbelscheiben gelegenen crania-

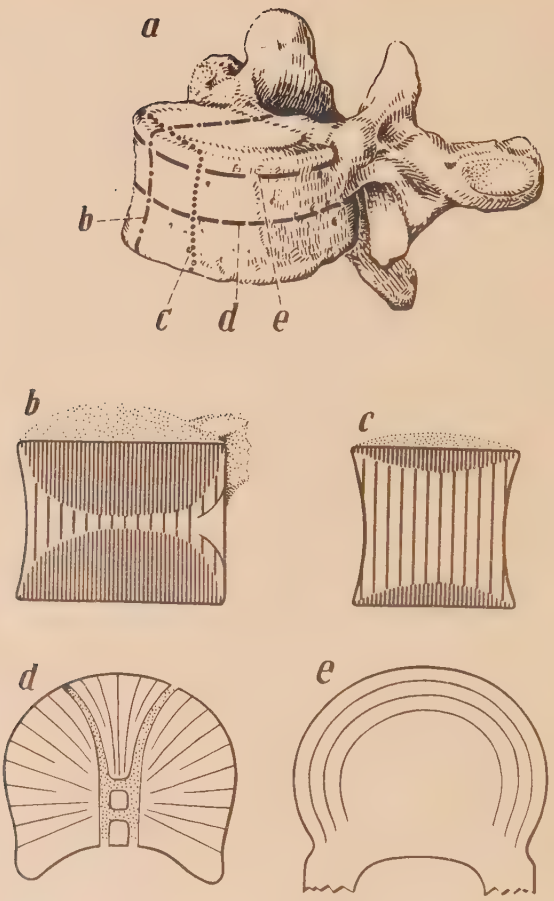


Abb.2 Schemata zur Gefügeordnung der Wirbelkörperspongiosa

a) Darstellung der Schnittführungen.
b) Medianschnitt mit bikonkaver Mittelzone und anschließenden plankonvexen Abschnitten.
c) Frontalschnitt knapp hinter der ventralen Wand von dorsal. Zonengliederung.
d) Horizontalschnitt durch Mittelzone. Radiärstellung der Lamellen und H-förmige Gefäßkanäle.
e) Horizontalschnitt im "Endplattengebiet". Konzentrische Ausrichtung der peripheren Spongiosa.

len und caudalen Wirbelkörperanteile im wesentlichen vertikal orientierte Spongiosazüge auf, doch zeigt die eingehende stereomikroskopische Raumanalyse von Längsschnitten, daß die vermeintlichen Vertikallamellen in Wirklichkeit Schnittflächen von Tubuluswänden darstellen. (Abb. 4 u.5, Anhang). Freilich besitzen die Röhrchen keine geschlossenen Wandungen, sondern sind ausgiebig gefenstert und stehen über die Öffnungen in wechselseitiger Verbindung. Unter Umständen können die Fensterungen so ausgiebig sein, daß zu Röhren geformte Netze die Tubuluswände zu bilden scheinen. Nach der R o u x'schen Definition würde demnach eine Spongiosa tubulosa incompleta vorliegen. Die horizontalen Spongiosastreben, die bislang als solide, geradverlaufende Trabekel beschrieben wurden, erweisen sich bei der stereoskopischen Untersuchung als gekrümmte Zwischenwände benachbarter Tubulusfenster.

In den plankonvexen Wirbelkörperanteilen sind die Tubuli regelmäßig so verbaut, daß sie von der Mittelzone relativ weitlumig ausgehen und sich in Richtung auf die "Endplatten" in immer feiner werdende, parallel gebündelte Röhrchen aufspalten.

Besonders deutlich tritt der Tubuluscharakter der Spongiosa auf Horizontalschnitten durch die cranialen und caudalen Zonen der Wirbelkörper in Erscheinung, wobei die Elementarteilchen so eingebaut sind, daß aneinanderstoßende Röhrchen immer eine gemeinsame Wandung bilden. Dementsprechend stellen die einzelnen Tubuli keine isolierten Zylinder, sondern wabig angeordnete Röhrchen mit durchschnittlich sechs Berührungsflächen dar. Den sechs Wandflächen ist jeweils eine gleichgroße Zahl benachbarter Tubuli zugeordnet, wobei an den ausgerundeten "Kanten des Sechseckes" jeweils drei Tubuluswände zusammenlaufen. (Siehe Schema d. Abb.3, S.16 und Abb.5, Anhang). Ein rechtwinkliges Aufeinandertreffen von Knochenplättchen mit quadratisch oder rechteckig umgrenzten Feldern konnte in keinem Fall beobachtet werden.

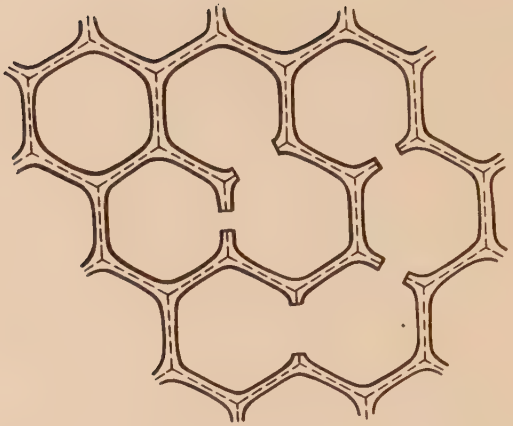


Abb. 3 Schema der Tubulusanordnung im Horizontalschnitt.
Bienenwabenstruktur mit Fensterungen.

Außerdem ist an den Horizontalschnitten festzustellen, daß die Röhrchen nach den "Endplatten" zu immer feinkalibriger und gleichzeitig zahlreicher werden. Jedenfalls sind in Querschnitten nahe der Mittelzone wesentlich weniger dafür weitlumigere Röhrchen getroffen, während sich nach den Zwischenwirbelscheiben zu die Zahl der Röhrchen ständig vermehrt und ihr Durchmesser zugleich immer kleiner wird. Ferner tritt an Horizontalschnitten dieser Region ein konzentrischer Verbau der Röhrchen in Erscheinung. Besonders auffallend ist diese Anordnung in der Peripherie, speziell im Bereich der vorderen und seitlichen Wirbelkörperwand ausgeprägt.(Schema e,Abb.2,S.16 u.Abb.5, Anhang)

Werden die in den Tubuluswandungen bzw. in den Lamellen der Zentralzone ausgesparten Fensterungen an Medianschnitten der Größenordnung nach verglichen, so ergeben sich für die Mittelzone Durchmesser von rund 1,4 - 1,6 mm lichter Weite. Im anschließenden Gebiet sind die Werte bereits auf 0,5 - 0,6 mm abgesunken. In der Nähe der Endflächen besitzen die Poren nur mehr Durchmesser von etwa 0,3 - 0,4mm.

An den sogenannten Endplatten schließlich sind allerkleinste Öffnungen von rund 0,1 mm anzutreffen. Auch die Abstände zwischen den einzelnen Fensterungen werden gegen die "Endplatten" zu immer kleiner, so daß mit abnehmender Porengröße die Öffnungen pro Flächeneinheit immer zahlreicher werden.

Während im Übergangsgebiet zur "großkammerigen Zone" die Fensterungen zwischen den benachbarten Röhrchen ziemlich unregelmäßig angeordnet sind, zeigen sie gegen die Zwischenwirbelscheiben zu eine deutliche horizontale Ausrichtung. Es entsteht auf diese Weise das Bild eines horizontalen Etagenbaues, der in Nähe der Zwischenwirbelscheiben klar in Erscheinung tritt. Wird ein Sagittalschnitt im Schrägaufblick durch das Stereomikroskop betrachtet, so zeigt sich, daß in dem unmittelbar an die Disci intervertebrales anschließenden Bereich tatsächlich einige wenige Lagen horizontaler Siebplatten vorliegen, die das Bild eines regelrechten Schichtbaues ergeben.

Im jugendlichen Alter scheinen diese von feinen Poren durchsetzten Horizontallamellen zahlreicher zu sein als nach abgeschlossener Entwicklung. Bei Erwachsenen sind durchschnittlich nur mehr 2 - 3 derartiger Plattenlagen zu sehen, so daß hier ein 1 - 2 schichtiger Etagenbau zustande kommt. Die feinporigen, horizontalen Schichten sind gegeneinander durch schlanke Vertikalpfeiler abgestützt. Da die letzte Horizontalplatte gleichfalls von feinsten Poren durchsetzt ist, besteht gegenüber den Zwischenwirbelscheiben kein völliger Abschluß.

An normalen, vollentwickelten Wirbelkörpern waren die von Randleisten umgebenen knöchernen Endflächen stets plan und zeigten höchstens am Ort der zurückgebildeten Chorda dorsalis eine stecknadelkopfgroße Einziehung. Dagegen fiel uns auf, daß ihre Siebplatten mit zunehmendem Alter immer häufiger - entsprechend der Lage der Nuclei pulposi - muldenartig eingedellt sind. Ob diese Impressionen unter dem Quelldruck der Gallertkerne oder durch primäre Demineralisation entstanden bzw. als Auswirkung beider Vorgänge zu betrachten sind, sei dahingestellt. Keinesfalls halten wir sie für eine Normalerscheinung. Nimmt die Eindellung ein stärkeres Ausmaß an, so werden die ursprünglich horizontalen Schichten der Endplattenspongiosa derart aufeinander gepresst, daß ihre Sieblamellen eine Compacta vortäuschen. Die den Endplatten ursprünglich vertikal zugeordneten Tubuli passen sich

den veränderten Verhältnissen dadurch an, daß sie sich senkrecht zur Eindellungsfläche einstellen. Sie erhalten damit eine radiäre, dem Nucleus pulposus als Zentrum zugewandte Ausrichtung.

Es sei nochmals daraufhingewiesen, daß wir diese Muldenbildungen im Endplattenbereich, die von M u t e l und R e m y als normale Architektur angesehen wurden, als Ausdruck eines pathologischen Geschehens betrachten. Das Gleiche gilt für die von M o r r i s und P i e r s o l beschriebene Spongiosaarchitektur, bei der die Trajektorienzüge der "Bälkchen und Plättchen" nicht rein vertikal bzw. horizontal, sondern in flachen, zum Wirbelkörperzentrum konkaven und konvexen Bogen verlaufen. Unsere Auffassung geht dahin, daß der normale und gesunde Wirbelkörper praktisch plane, horizontale Endflächen und senkrecht dazu eingestellte Tubuli aufweist.

Wie bereits angedeutet (Seite 15), zeigt die bikonkave Mittelzone der Wirbelkörper den bisher beschriebenen von cranial und caudal eingefügten, kugelkappenartigen Abschnitten gegenüber eine grundsätzlich abweichende Spongiosaform. An die Stelle der Tubuli treten breite Lamellen, die vorwiegend vertikal stehen und zum Wirbelzentrum ungefähr radiär ausgerichtet sind.(Schema d, Abb.2,S. 16 u. Abb.4, 6 u. 7, Anhang). Von diesen Platten, deren Zahl von innen nach außen zunimmt, werden entsprechend orientierte Kämmerchen umschlossen, die innen relativ weitlumig aber niedrig sind, (Im Bereich des Zentrums etwa 1 - 3 mm Querdurchmesser), die peripherwärts jedoch immer schmäler und höher werden (Abb.7, Anhang). Unmittelbar unter der Außenfläche der Wirbelkörper stellen diese Hohlräume hohe vertikale Spalten dar (Querdurchmesser ungefähr 0,5 - 1,0 mm). Während die Lamellen im Zentrum der Mittelzone von zahlreichen weiten Poren durchsetzt sind (Durchmesser etwa 1,5 mm), werden die Fensterungen peripherwärts immer kleiner und zugleich seltener.

Auf der ventralen Seite von Medianschnitten treten die cranial und caudal auseinanderweichenden Ränder der bikonkaven Mittelzone als ein kelchartig konturiertes Feld in Erscheinung, wobei der horizontalliegende Kelchstiel nach rückwärts auf das Zentrum gerichtet ist. Dieses Gebiet tritt auf unserer Abbildung 4 des Anhanges deutlich hervor und es ist zu erkennen, daß die an dieser Stelle in der Aufsicht vorliegenden Lamellen nur wenige Fensterungen enthalten. Infolgedessen

heben sich die Platten deutlich von der Spongiosa tubulosa incompleta der cranialen und caudalen Kugelabschnitte ab.

Noch auffallender zeigt sich das Abweichen der Spongiosastruktur auf Frontalschnitten knapp hinter der ventralen Wirbelkörperwand. Ein Beispiel gibt Abbildung 7, Anhang. Sie gewährt in Dorsalansicht Einblick in das lamelläre Kammersystem der Mittelzone, an das cranial und caudal die tubulären Gebiete anschließen. Ganz ähnliche Kammerbildungen wie an der ventralen finden sich auch an der lateralen Wirbelkörperwand, während auf der Dorsalseite infolge Ausbildung einer tiefen Gefäßbucht und des Einstrahlens der Bogenwurzeln eine scharfe Abgrenzung zwischen tubulären Endzonen und der lamellären, zentralen Kammerzone kaum möglich ist.

In diesem Zusammenhang sei darauf hingewiesen, daß das Baumaterial der lamellären Mittelzone, das praktisch von der ersten Knochenbildung an von Knochenhaut bedeckt ist, periostal entsteht, während die tubulären Gebiete, die von Anfang an mit Knorpel in Verbindung stehen, durch enchondrale Ossifikation gebildet werden. Einer besonderen Erörterung bedürfen die horizontalen, im Bereich der grobkammerigen Mittelzone ausgesparten Gefäßkanäle. Sie lassen sich vielfach innerhalb ihrer horizontalen Ausbreitungsebene als relativ weite Kanäle von der Einbuchtung der dorsalen Wand aus nach ventral verfolgen. Manchmal durchbrechen sie auch noch die ventrale Wirbelkörperwand, wie es beim Jugendlichen fast stets der Fall ist (Schema d der Abb.2,S.16)

An Horizontalschnitten durch die Mittelzone sind die Kanäle auch in ihrer Ausbreitung nach lateral gut zu verfolgen. Es handelt sich mit einiger Regelmäßigkeit um 2-3 mm starke, paramediane Hauptkanäle, die in Zweizahl, bilateral symmetrisch, vorliegen und in "H"- oder "X"-form von dorsal nach ventral ziehen, um nach seitwärts Nebenkanäle abzugeben, die sich gleichfalls alle horizontal in der lamellären Mittelschicht ausbreiten. Nach B r e s c h e t sind in den knöchernen Leitröhren Gefäße, insbesondere Venen enthalten. Ein Vergleich mit den von V o n w i l l e r beschriebenen fetalen Verhältnissen ergibt, daß die vorderen Abschnitte der ursprünglich rein sagittal eingestellten Gefäße späterhin infolge der zunehmenden Breitenentwicklung der ventralen Wirbelkörperpartie mehr und mehr seitwärts rücken, so daß sie beim Erwachsenen nicht mehr rein sagittal sondern bogen-

förmig von hinten innen nach vorne außen verlaufen. Eine zentrale sinusartige Queranastomose, die oftmals auch als Ring ausgebildet ist, bleibt vom ersten Auftreten der Gefäße an erhalten.

Die dorsalen Anteile der Hauptkanäle behalten ihre parallele Verlaufsrichtung bei, um sich entweder getrennt oder unter Verschmelzung an der trichterförmigen Vertiefung der dorsalen Wirbelkörperwand,-als der Austrittsstelle der Venae basivertebrales - nach außen zu öffnen. B r e s c h e t hat eine klare Schilderung der typischen Verlaufsweisen samt vorkommenden Abweichungen gegeben und mit Abbildungen belegt. Bei Wirbeln von Erwachsenen konnten wir feststellen, daß selbst dann, wenn oberflächliche Gefäßöffnungen kaum in Erscheinung treten, in der zentralen Ausbreitungsebene trotzdem "H"- oder "Y"-förmige Gefäßkanäle vorhanden sind. Das bedeutet, daß die ohnehin großkammerig gebaute Mittelzone der Wirbelkörper durch die Aussparung der Gefäßkanäle eine weitere Auflockerung erfährt.

An sich wäre zu erwarten, daß die geringe Zahl der Spongiosastreben durch eine Verstärkung der Lamellen wettgemacht würde, um die gleiche Stabilität wie in den dichtgefügten Nachbarabschnitten zu erreichen. Wie jedoch die stereomikroskopische Überprüfung ergibt, ist bei vollentwickelten und normalen Wirbelkörpern eine solche kompensatorische Verdickung der Trägerelemente nicht festzustellen. Vielmehr zeigen die Querschnitte der Lamellen im Bereich der grobkammerigen Zone die gleiche Stärke wie die Tubuluswände der cranialen und caudalen Abschnitte, einschließlich der "Endplattengebiete". Die ermittelten Werte schwanken mit 70 - 100 my erstaunlich wenig und lassen regionale Unterschiede nicht erkennen. Diese Tatsache ist wohl damit zu erklären, daß die Mittelzone dem Minimum-Maximum-Prinzip folgend nur dort knöcherne Streben besitzt, wo dies den Trajektorien entsprechend erforderlich ist. Im H inblick auf die Belastungsbeanspruchung der Nachbarschaft handelt es sich somit um eine relativ neutrale Zone. Aus dieser Überlegung wird verständlich, daß die Ausbreitung der Hauptgefäße gerade in der Mittelzone als einem Gebiet erfolgt, das besonders günstige räumliche und mechanische Bedingungen bietet. Trotz ihres lockeren Spongiosagefüges vermag die Mittelzone physiologischen Belastungen ohne weiteres Stand zu halten. Da sie jedoch infolge ihrer schwächeren Verstrebung einen Locus minoris resistentiae darstellt, dürfte sie abnormen Beanspruchungen gegenüber eine geringere Wider-

standsfähigkeit besitzen.

Im Anschluß an unsere bisherigen Betrachtungen zum Verbau der Wirbelkörperspongiosa ist es notwendig, kurz auf die Frage der sogenannten Corticalis einzugehen. Schnitte, die in beliebiger Richtung, vor allem durch nicht mazerierte Wirbelkörper geführt sind, lassen unmittelbar unter dem Periost eine knöcherne Mantelzone erkennen, die wesentlich dichter erscheint als die anschließende Spongiosa. Auch mazerierte Knochen erwecken den Eindruck als sei im Wirbel eine regelrechte Compacta vorhanden. Das Gleiche gilt für das Gebiet der cranialen und caudalen "Endplatten". Die stereomikroskopische Analyse zeigt jedoch, daß an Wirbelkörpern eine typische Compacta nicht vorkommt. Sie wird vielmehr durch den periostalen Bindegewebsschlauch ersetzt, der freilich der feinkammerigen spongiösen Mantelzone nicht kontinuierlich anliegt. Die zwischen spongiöser Außenschicht und periostaler bzw. paraostaler Hülle freibleibenden Spalträume sind von rotem Knochenmark und zarten Gefäßen erfüllt; eine Tatsache, auf die bereits P e t e r s e n hingewiesen hat.

Daß von einer Compacta im üblichen Sinn nicht die Rede sein kann, zeigt sich an Schnitten durch völlig weichteilfrei gemachte Wirbel besonders deutlich. Die Kontrolle unter dem Stereomikroskop läßt erkennen, daß selbst die Mantelzone aus typischer Spongiosa besteht. Freilich enthält deren Schwammwerk nur sehr feine Hohlräume, die ursprünglich - wie wir am histologischen Kontrollpräparaten feststellen konnten - von Knochenmark ausgefüllt waren. Wenn an frischen oder unvollständig mazerierten Knochen das Randgebiet einer Compacta ähnlich sieht, so ist diese Erscheinung lediglich auf den dichteren Bau der Spongiosaaußenschicht und auf deren Füllmasse zurückzuführen.

Die histologische Überprüfung unseres Materials konnte ferner die längst bekannte Tatsache bestätigen, daß sämtliche Anteile der Wirbelkörperspongiosa aus Generallamellen aufgebaut sind. Lediglich im Bereich der Bogenwurzeln konnten hin und wieder typische H a v e r s sche Lamellensysteme beobachtet werden.

Wie an entsprechend geführten Schnitten zu sehen ist, strahlen von der Compacta der Bogenwurzeln ausgehend zusätzliche Streben in Form von Bälkchen, seltener als Plättchen fächerförmig in das Spongi-

osagefüge der Wirbelkörper ein. In der Horizontalebene der Bogenwurzeln bilden die von beiden Seiten einlaufenden und sich gegenseitig überschneidenden Züge ventralwärts gerichtete Spitzbögen. Unter cranialem und caudalem Ausscheren entfalten sich diese Spongiosastreben fächerförmig, um in die vertikal gestellten Tubuli ossei auszulaufen. Auf diese Weise werden die von den Bögen aus angreifenden Kräfte auf die Haupttrajektorien der Wirbelkörperspongiosa übertragen.

Aus unseren bisherigen Befunden ergibt sich, daß die bikonkave Mittelzone abnormen Belastungsbeanspruchungen oder Krankheitsprozessen gegenüber einen Locus minoris resistentiae darstellt. Bedeutet doch der großkammerige Bau beim Fehlen einer kompensatorischen Verstärkung der wandbildenden Lamellen zusammen mit der zusätzlichen Aussparung von Gefäßkanälen abnormen Beanspruchungen gegenüber zweifellos eine Minderung der mechanischen Stabilität dieses Gebiets. Es ist daher anzunehmen, daß plötzliche Überbelastungen oder Demineralisationsprozesse für den Mittelzonenbereich besonders schwerwiegende Folgen haben und eventuell zu einem Zusammenbruch des zugeordneten Spongiosasystems führen können.

Von dieser Überlegung ausgehend haben wir folgenden einfachen Versuch ausgeführt. In sämtlichen Teilen vollständig entkalkte Brust- und Lendenwirbelkörper wurden nach Wässerung zwischen zwei Metallplatten gebracht und mit Hilfe von Schrauben in craniocaudaler Richtung gleichmäßig unter Druck gesetzt. Dabei zeigte sich, daß die Wirbelkörper unter der Belastung nicht wie ein Schwammwerk in allen Teilen gleichförmig zusammengepresst wurden, sondern daß es - wie erwartet - in erster Linie die horizontale Gürtelzone der Wirbelkörpermitte war, die von der Stauchung und der oberflächlichen Faltenbildung betroffen wurde. (Abb.8,Anhang). Bei entsprechenden Versuchen an mediansagittal durchschnittenen Wirbelkörpern war an der Schnittfläche ohne weiteres zu erkennen, daß die großkammerige Zone zuerst zusammengestaucht wird, während die tubulös gebauten Wirbelanteile zunächst völlig unverändert blieben. Erst nach vollständiger Kompression der Mittelzone, griff bei weiterer Druckverstärkung der Stauchungsvorgang auch auf das dichtere und widerstandsfähigere Gebiet der Spongiosa tubulosa über. Einseitige Belastungen hatten Keilwirbeln entsprechende Deformierungen zur Folge.

An 6 fach vergrößerten photographischen Reproduktionen von Medi-

anschnitten wurde die unter der Belastung eintretende Verformung exakt vermessen. Dabei ergab sich völlige Übereinstimmung mit den bereits makroskopisch und stereomikroskopisch erhobenen Befunden.

Wenn auch bei unseren Versuchen hauptsächlich Vertikaldrucke zur Anwendung kamen, so darf nicht übersehen werden, daß im Bewegungsspiel des lebenden Körpers Kräfte unterschiedlichster Stärke und Angriffsrichtung zur Auswirkung gelangen und daß diese Kräfte nicht nur von den Wirbelkörpern sondern auch von dem Gesamtsystem der Wirbelsäule samt Bandapparat, Gelenken und bewegenden Muskeln verarbeitet werden. Eine ausführliche funktionsmorphologische Analysierung all dieser Faktoren würde den Rahmen unserer Arbeit weit überschreiten. Sahen wir doch unsere eigentliche Aufgabe darin, die morphologische Gefügeordnung der Wirbelkörper als solche zur Darstellung zu bringen. Auf eine physikalische Analyse des trajektoriellen Verbaues etwa unter Heranziehung spannungsoptischer Methoden wurde daher verzichtet.

Diskussion

Aus unseren Erhebungen geht hervor, daß die in der Literatur allgemein vertretene Auffassung, wonach die Wirbelkörperspongiosa ein völlig einheitliches und gleichartiges Gefüge zeigt, nicht zu Recht besteht. Ist doch an Schnittreihen bereits bei flüchtiger Betrachtung zu erkennen, daß im Verbau der Spongiosa drei Hauptzonen abgrenzbar sind. Erstens eine großkammerige,horizontale Mittelzone, deren Form mit einer bikonkaven, an den Rändern vertikal ausgezogenen Scheibe vergleichbar ist. Die von Periost bedeckten, senkrechten Außenflächen dieser Scheibe bilden die ventrale und laterale Wirbelkörperwand. In die beiderseitigen Konkavitäten der großkammerigen Mittelzone sind als zweiter und dritter Hauptteil die cranialen und caudalen Wirbelkörperabschnitte nach Art plankonvexer Kugelkappen eingelassen. Ihr feinmaschiges, vertikal orientiertes Spongiosagefüge unterscheidet sich deutlich von der groben Kammerung der Mittelzone. (Siehe Abb. 4 u. 7,Anhang).

Ferner haben unsere Untersuchungen ergeben, daß die von G r a y, M o r r i s, P i e r s o l, B r e c h e t, S c h m o r l und J u n g h a n n s und vielen anderen geäußerte Meinung, wonach die Spongiosa der Wirbelkörper nur aus vertikalen und horizontalen, d.h. rechtwinklig zueinander eingestellten Bälkchen und Lamellenzügen aufgebaut sein soll, nicht zutrifft. Wir konnten uns vielmehr davon überzeugen, daß zwar in den kugelkappenartigen Wirbelanteilen ein System vertikaler Streben in Erscheinung tritt, dieses jedoch nicht von einfachen Plättchen und Bälkchen sondern von Tubuli ossei gebildet wird, deren Wände eine vertikale Lamellenstruktur vortäuschen. Auch die Feststellung querliegender Bälkchen beruht auf einer Täuschung. Die horizontale Ausrichtung der zahlreichen Röhrchenfensterungen, insbesondere im "Endplattenbereich" führt nämlich dazu, daß die Zwischenwände zwischen den Öffnungen als transversalliegende Bälkchen und Lamellen in Erscheinung treten. Wie die stereoskopische Untersuchung zeigt, sind diese horizontalen Spongiosazüge nichts anderes als die gekrümmten Zwischenwände benachbarter Tubulusfenster. Nach R o u x' s Definition handelt es sich somit um eine Spongiosa tubulosa incompleta.

Im Gegensatz zu dem ablehnenden Standpunkt P e t e r s e n's vertreten B e n n i n g h o f f und B a r g m a n n die Auffassung

daß eine Spongiosa tubulosa auch beim Menschen vorkommt. In seinem Lehrbuch der Histologie und mikroskopischen Anatomie bringt B a r g m a n n eine klare Definition der tubulösen Spongiosa und ergänzt dabei in mancher Hinsicht die von R o u x vorgenommene Beschreibung. Horizontalschnitte durch die cranialen und caudalen Abschnitte der Wirbelkörper lassen ohne weiteres erkennen, daß hier die Spongiosa nicht etwa aus einem System von Lamellae staticae mit rechteckig umgrenzten Kämmerchen besteht. Ein auf der Schnittfläche hervortretendes System rundlicher, wabenähnlicher Maschen beweist vielmehr das tatsächliche Vorhandensein von vertikalen Tubuli, deren Verbau so durchgeführt ist, daß benachbarte Röhrchen jeweils gemeinsame Wandungen besitzen. Die im Übergangsbereich zur Mittelzone relativ weitlumigen Tubuli werden unter Aufspaltung in Richtung auf die "Endplatten" immer feinkalibriger und zahlreicher, gleichzeitig nehmen ihre Fensterungen an Zahl zu, an Größe ab.(Abb.5, Anhang).

Während in den cranialen und caudalen Wirbelanteilen Tubuli ossei die elementaren Bauteile darstellen, zeigt sich, daß die Mittelzone aus vertikal gestellten, ausgiebig gefensterten Lamellae staticae besteht, die zur Mitte des Wirbelkörpers radiär orientiert sind. Im Zentrum des Wirbelkörpers umschließen diese Plättchen weitlumige Hohlräume, die nach der Peripherie zu unter Vermehrung der Lamellen immer schmaler und höher werden, so daß unter der periostalen Oberfläche vertikal gestellte Kämmerchen in Erscheinung treten.(Abb.7, Anhang).

In verschiedener Höhe durch Wirbelkörper geführte Horizontalschnitte offenbaren, daß in der gesamten Mittelzone pro Flächeneinheit wesentlich weniger Spongiosaelemente verbaut sind, als in den tubulären Gebieten. Da die Lamellae staticae wie die Tubuluswandungen annähernd gleichstark sind, - die Dickenmaße schwanken in sämtlichen Zonen mit 70 - 100 my nur gering - ist es einleuchtend, daß die tubulären Abschnitte, in deren Bereich eine erheblich größere Zahl von Streben auf die Flächeneinheit trifft, der großkammerigen, lamellären Mittelzone gegenüber eine wesentlich größere mechanische Widerstandsfähigkeit besitzen, um so mehr als die Lamellen der zentralen Mittelschicht besonders große Fensterungen aufweisen und durch die Aussparungen von "Gefäßkanälen" eine weitere Schwächung erfahren. Infolge ihres aufgelockerten Spongiosagefüges wird die horizontale

Mittelzone unter abnormen Belastungen zweifellos zu einem Locus minoris resistentiae, zumal eine versteifende Compactaschale fehlt. Belastungsversuche an entkalkten Wirbelkörpern ergaben dementsprechend, daß daslamelläre, grobkammerige Spongiosagefüge der Mittelzone schon unter Einwirkung geringer Vertikaldrucke schnell zusammenbricht, ohne daß die tubulären Abschnitte eine Veränderung erfahren.

Die röntgenologische Analyse pathologisch veränderter Wirbelsäulen weist daraufhin, daß bei demineralisierenden Prozessen der Einbruch des Spongiosagefüges gerade im Bereich der Mittelzone erfolgt. Ebenso ist dieser Abschnitt bei Wirbelkörperfrakturen bevorzugter Sitz der Läsion. Aus den Strukturverhältnissen wird verständlich, daß abnorme einseitige Belastungen zu einer homolateralen Stauchung der Mittelzone und damit zur Keilwirbelbildung führen können, besonders dann, wenn gleichzeitig destruierende Prozesse im Innern des Wirbelkörpers ablaufen. So kommt es bei der Adoleszentenkyphose (S c h e u e r m a n n'sche Krankheit) nach S c h r i c k zu einem Zusammenbruch des ventralen Anteils der Mittelzone mit Keilwirbelbildung. Unsere Vermutung, daß auch übermäßige Scher- und Torsionskräfte im Bereich dieses Locus minoris resistentiae verstärkt zur Auswirkung gelangen und entsprechende Deformierungen zur Folge haben müssen, konnte an Torsionswirbeln skoliotischer Skelette ohne weiteres bestätigt werden. War doch deutlich zu beobachten, daß die gegenläufige Verwindung beider Wirbelkörperhälften gerade in der Mittelzone erfolgt und dort in einer Gefügeänderung zum Ausdruck kommt.

Im Röntgenbild sichtbare Aufhellungen der Wirbelkörpermitte wurden von zahlreichen Chirurgen, Orthopäden und Röntgenologen, so von H a h n, H a n s o n, R e i s s n e r, R u c k e n s t e i n e r, S c h i n z - B a e n s c h - F r i e d l, K ö h l e r - Z i m m e r und vielen anderen beschrieben, bzw. in Lehrbüchern erwähnt. Die Autoren vermuten, daß die vorwiegend an nicht vollentwickelten Wirbelkörpern nachweisbaren Aufhellungen durch die Ausbreitung der Gefäße bedingt seien. Sollte diese Auffassung tatsächlich zutreffen, so dürfte die Höhe der Aufhellungen in Übereinstimmung mit der Ausdehnung der Gefäßebene den Wert von 2-3 mm nicht überschreiten. Da jedoch nach den Angaben von V o l l m a r u.a. häufig breitere Aufhellungsbänder zu beobachten sind, müssen wir annehmen, daß die erhöhte Strahlendurchlässigkeit letzten Endes auf den großkammerigen Bau der Mittelzone zurückzuführen ist. Unsere Untersuchungen ergaben, daß in

diesem Bereich pro Flächeneinheit wesentlich weniger strahlenabsorbierende Knochenstreben eingebaut sind als in den tubulären Abschnitten. Eine ähnliche, wenn auch weniger präzis fundierte Ansicht vertreten D y e s und S c h e u r i n g, wenn sie "eine relativ kalkärmere Zone" für das Auftreten der Aufhellungen verantwortlich machen. Vermutlich haben auch sie dabei weniger an eine Kalkverarmung dieser Zone als an die zahlenmäßige Verringerung der im Strahlengang hintereinanderliegenden, schattengebenden Knochenstreben gedacht. In Übereinstimmung mit V o l l m a r muß betont werden, daß die "horizontalen Aufhellungen auf Röntgenbildern von Wirbelkörpern vollkommen normale Gebilde", keineswegs aber Folgeerscheinungen eines pathologischen Geschehens darstellen. Wenn es V o l l m a r nur in etwa 50% der untersuchten Fälle gelang die Aufhellungen röntgenologisch nachzuweisen, so dürfte dies hauptsächlich auf aufnahmetechnische Unzulänglichkeiten zurückzuführen sein.

Wir hoffen durch unsere Ausführungen gezeigt zu haben, daß sich aus der Kenntnis des zonenweise unterschiedlichen Spongiosagefüges für das Verständnis von Wirbelkörpererkrankungen mancherlei Anhaltspunkte gewinnenlassen.

Zusammenfassung

Stereomikroskopische Untersuchungen ergaben, daß die Spongiosa menschlicher Wirbelkörper keineswegs ein einheitliches System vertikal und horizontal orientierter Bälkchen und Plättchen darstellt, sondern eine zonenweise unterschiedliche Gefügeordnung erkennen läßt. Es werden drei Hauptzonen unterschieden:

1. Eine großkammerig gebaute Mittelzone, die der groben Form nach mit einer horizontalen, bikonkaven Scheibe vergleichbar ist, deren Randpartien cranial- und caudalwärts ausgezogen sind. Vertikal und zugleich radial gestellte Lamellen umwanden weitlumige Kämmerchen, wobei ausgiebige Fensterungen sowie Aussparungen für die Gefäßausbreitungen das Spongiosagefüge zusätzlich auflockern und seine mechanische Widerstandskraft herabsetzen.

2. In die Konkavitäten der Mittelzone ist von cranial und caudal je ein kugelkappenartiger Wirberkörperabschnitt eingelassen, dessen Spongiosa aus vertikal gestellten, ausgiebig gefensterten Röhrchen besteht.

Eine genauere Strukturanalyse und Belastungsversuche ergaben, daß die Mittelzone als ein Locus minoris resistentiae zu betrachten ist. Die Bedeutung dieser auch röntgenologisch darstellbaren Zone für das pathologische Geschehen wird erörtert.

Es ist mir eine besondere Ehre, an dieser Stelle meinem hochverehrten Lehrer , Herrn Professor Dr. Kurt N e u b e r t, meinen besten Dank aussprechen zu dürfen für sein großzügiges Entgegenkommen, das es mir ermöglichte, dieses mich persönlich interessierende Gebiet zu bearbeiten. Ihm möchte ich außerdem vielmals danken für alle zur Abfassung des Schriftsatzes so wertvollen Anregungen. Die Ausführung der Schemazeichnungen verdanke ich dem wissenschaftlichen Zeichner des Instituts, Herrn Hippeli.

L i t e r a t u r v e r z e i c h n i s

1. Anseroff,N.I. "Die Arterien der Wirbelsäule des Menschen". Zschr. Anat.Entw.gesch.105/562 (1936)
2. Bardeen,C.R. "The Development of the Thoracic Vertebrae in Man". Amer.J.Anat. 4/163 (1905).
3. Bargmann,W. "Histologie und mikroskopische Anatomie des Menschen" B I,S 148, G.Thieme, Stuttgart (1948).
4. Benninghoff,A. "Lehrbuch der Anatomie des Menschen". B I,S 74 u.a.,I.F.Lehmann,München-Berlin (1939).
5. Brandt zitiert nach L y o n (persönliche Nachricht).
6. Breschet,M.G. "Recherches anatomiques, physiologiques et pathologiques sur "Le system veineux" et specialement sur les canaux veineux des os. "Des veines du rachis". Paris (1819).
7. Broman,I. "Normale und abnorme Entwicklung des Menschen". S.599,I.F.Bergmann,Wiesbaden (1911).
8. de Burlet,H.M. "Über durchbohrte Wirbelkörper fossiler und rezenter Edentaten",zugleich ein Beitrag zur Entwicklung des Venensystems der Faultiere. Morph.Jb.Leipzig 51/555 (1921).
9. Dyes,O. "Die Wirbelsäule im Wachstumsalter" Fortschr.Röntgenstr. BH 1931,S.40.
10. Ferguson,W.R. "Some observations on the circulation in foetal and infant spines".J.Bone Surg.Am. Vol 32-AN.3/640(1950).
11. Fischel,A. "Lehrbuch der Entwicklung des Menschen". S.747. J.Springer, Berlin (1929).
12. Forssmann,G.& T.Petren: "Die arterielle Versorgung der Brustwirbelkörper". Anat.Anz.Jena, 88/167 (1939).
13. v.Friedländer,F.: "Beitrag zur Architektur spongiöser Knochen". Anat.Hefte 23/237 (1904).
14. Gebhardt,W. "Über funktionell wichtige Anordnungsweisen der gröberen und feineren Bauelemente des Wibelthierknochens". R o u x Arch. Entw.mech.Organ.11/391 (1901).
15. Gray,H. "Anatomy of the human body".S.91(edited by Warren H.Lewis),Lea & F.E.Biger,Philadelphia,24.Aufl.(1942).
16. Hahn,O. "Scheinbare Spaltbildungen der Wirbelkörper in der Adoleszenz".Fortschr.Röntgenstr.29/H 2,S 211 (1922).

17. Hanson,R. "On the development of spinal vertebrae as seen on Skiagrams,from late foetal life to the age of fourteen". Acta radiol.Stockholm 5/1, 112-126 (1926).

18. Hanson,R. "Some anomalies,deformities and diseased conditions of the vertebra during their different stages of development,elucidated by anatomical and radiological findings". Acta chir.Scand.B 60,H 4-5,S 309,(1926).

19. Harrenstein,R.J.:"Über einige vom diagnostischen Gesichtspunkt aus irreführende Variationen". Zschr.orthop.Chir.Stuttgart 49/568 (1928).

20. Heidenhain,M. "Formen und Kräfte der lebendigen Natur". aus:Vorträge und Aufsätze über Entwicklungsmechanik der Organismen.Herausgeg.v.W.R o u x,Heft 32 (1923).

21. Köhler,A.-E.Zimmer: "Die Grenzen des Normalen und die Anfänge des Pathologischen im Röntgenbild des Skeletts". S.303, G.Thieme,Stuttgart 9.Aufl.(1953).

22. Lyon,E. "Über horizontale Aufhellungen in Röntgenbildern von Wirbelkörpern". Zbl.Chir.59/1845 (1932).

23. Morris,. "Human Anatomy".S.96/97.(J.P.Schaeffer),The Blakiston Company,Philadelphia,10.Aufl. (1944).

24. Mutel & P.Remy: "Sur le determinisme de l'orientation des travées osseuéses du corps vertebral". Compt.rend.Soc.biol.Paris 74/555 (1922).

25. Petersen,H. "Histolgie und mikroskopische Anatomie". S.247. F.J.Bergmann, München (1935).

26. Petersen,H. "Die Organe des Skeletsystems" in M ö l l e n d o r f f's Handbuch der mikroskopischen Anatomie d.Menschen, B II,T 2,S.247 u.a.,J.Springer,Berlin (1930).

27. Piersol,G.A. "Human Anatomy".S.128 J.B.Lippincott Company Philadelphia & London (1907).

28. Reissner,A. "Unterscheidungsmerkmale normaler, entzündlicher u. posttraumatischer Zustände der Wirbelsäule". Fortschr.Röntgenstr. 44/726 (1931).

29. Roux,W. "Gesammelte Abhandlungen über die Entwicklungsmechanik der Organismen".B I/702-722.W.Engelmann,Leipzig (1895).

30. Roux,W. "Terminologie der Entwicklungsmechanik der Tiere und Pflanzen".S.315,W.Engelmann Leipzig,(1912).

31. Ruckensteiner,R.:"Die normale Entwicklung des Knochensystems im Röntgenbild"Radiol.Praktika 15,G.Thieme,Leipz.(1931).

32. Scheuring,G. "Über H a h n'sche Spalten in Wirbelkörpern". Inaug-Diss. Würzburg 1935.

33. Schinz,H.R.-W.F.Baensch- E.Friedl - E.Uehlinger:"Lehrbuch der Röntgendiagnostik".B I/ T II,S.148. G.Thieme, Stuttgart, 5.Aufl. (1952).

34. Schinz,H.R. u.G.Töndury: "Zur Entwicklung der menschlichen Wirbelsäule: Die Frühossifikation der Wirbelkörper". Fortschr.Röntgenstr. 66/253, (1942).

35. Schmorl,G. u. H.Junghanns : "Die gesunde und die kranke Wirbelsäule in Röntgenbild und Klinik". S.2 u.a. G.Thieme,Stuttgart, (1951).

36. van Schrick,F.G.: "Der Einbruch des H a h n'schen Kanals als Ursache des kyphotischen Wirbels". Fortschr.Röntgenstr, 47/517 (1933).

37. Solotuchin,A.S.:"Blutversorgung der Wirbelsäule des Menschen". Wjest,Röntgenol.Radiol. 8. Lief.1, 15-24 (1930). Referat in: Anat.Bericht 20/177.

38. Solotuchin,A.S.: "Die Blutversorgung der Wirbelsäule des Menschen". Fortschr.Röntgenstr. 47/175 (1933).

39. Vollmar,M. "über die als H a h n'sche Kanäle beschriebenen horizontalen Aufhellungen von Röntgenaufnahmen von Wirbelkörpern".Anat.Anz.Jena 97/407 (1950).

40. Vonwiller,P. "Anatomische Untersuchungen über die Wirbelsäule mit besonderer Berücksichtigung des Problems der Form der Knochen. 1.Der Einfluß der Venen auf die Form der Wirbelkörper."Z.Anat.Entwg.69/264 (1923).

41. Wagoner,G.u.E.P.Pendergrass:"Intrinsic circulation of the vertebral body".Amer.J.Roentgenol. 27/818 (1932).

42. Wagoner,G.u.E.P.Pendergrass:"The anterior and posterior 'Notch'-shadows seen in lateral roentgenograms of the vertebrae of infants".Amer.J.Roentgenol.42/669 (1939).

43. Willis,A.T. "Nutrient arteries of the vertebral bodies". J.Bone Surg.Am. Vol.31 - A /3,S.538 (1949).

Lebenslauf

Am 10. Juli 1923 kam ich als Sohn des praktischen Arztes Johannes Dietrich und seiner Ehefrau Else, geborene Schirmer in Schwarzenbach an der Saale zur Welt. Meine Eltern übersiedelten 1926 nach Hof an der Saale, wo ich meine Kinderjahre im Elternhaus verbrachte und die Volksschule und das dortige humanistische Gymnasium besuchte.

1942 wurde ich zum Wehrdienst einberufen und geriet 1944 in Kriegsgefangenschaft. Nach der Entlassung begann ich im Wintersemester 1946/1947 in Würzburg mein Medizinstudium und bestand nach 4 Semestern im Herbst 1948 die ärztliche Vorprüfung. Nach einem klinischen Studium von 6 weiteren Semestern legte ich 1952 das Medizinische Staatsexamen in Würzburg ab.

Die Pflichtassistentenzeit verbrachte ich an der Orthopädischen Klinik des König-Ludwig-Hauses in Würzburg. Dort blieb ich nach meiner Vollapprobation im September 1953 noch bis zum 31. 3. 1954 tätig. Mit Wirkung vom 1.4.1954 wurde ich mit der Verwaltung einer Wissenschaftlichen Assistentenstelle am Anatomischen Institut der Universität Würzburg betraut.

Ich versichere ehrenwörtlich, daß ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfaßt und außer der angegebenen Literatur keine weiteren Hilfsmittel benutzt habe.

Ich versichere ehrenwörtlich, daß ich bisher von keiner anderen Seite ein Dissertationsthema zur endgültigen Bearbeitung erhalten habe. Ein mir früher zugeteiltes Thema habe ich ordnungsgemäß zurückgegeben.

Johannes Dietrich.

Abb. 4 Medianschnitt durch Brustwirbelkorper (Foto).Die tubularen Abschnitte fassen die großkammerige Mittelzone zwischen sich. Dorsaler Trichter fur Vv. basivertebrales. Ventrale Kelchfigur der lamellären Mittelzone. (Vergr. 6fach,auf 2/3 verkl.)

Abb.5 Horizontalschnitt in "Endplatten"-nähe. Wabenstruktur außen konzentrisch. Ausgiebige Fensterung der Tubuli ergibt Netzwerk. Überstrahlung täuscht stellenweise Compactabildung vor.(Vergr 6x,2/3 verkl.)

Abb. 6 Horizontalschnitt durch Mittelzone. Radiarstellung der großkammerigen Spongiosa mit feinkammeriger Mittelzone. Von links auslaufend die Bogencompacta.(Vergr. 6x, 2/3 verkl.)

Abb. 7 Frontalschnitt knapp hinter der ventralen Wirbelkörperwand hohe spaltförmige Kammern der Mittelzone mit wenig gefensterten Lamellen. Oben und unten schmale Streifen des dichtgebauten, tubulären Gebietes. (Vergr. 6x, 2/3 verkl.)

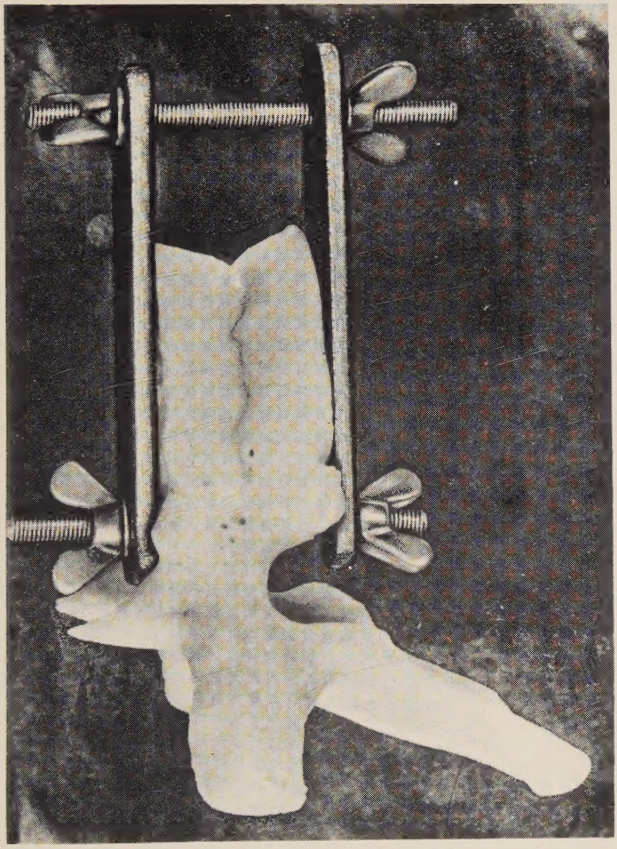


Abb. 8 Entkalkter Wirbelkörper ist unter Vertikaldruck im Bereich der Mittelzone zusammengestaucht und gefaltet. (Vergr. $1^1/2$ fach.)

RUDOLF RAEHR DRUCK- UND WERBETECHNIK
WÜRZBURG COLOPETRINISTR. 2